

УДК 621.311

МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УСЛОВИЯХ РОСТА ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Ю. Н. КОЛЕСНИК, М. Н. КУЗНЕЦОВ, В. В. САВОЧКИНА

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Сегодня во всем мире наблюдается тенденция удорожания энергоресурсов, поэтому все более актуальными становятся вопросы сбережения электроэнергии не только в оборудовании потребителей, но и в системах электроснабжения, в частности в распределительных трансформаторах. Поскольку установленная мощность распределительных трансформаторов в несколько раз превышает суммарную генераторную мощность, снижение потерь электроэнергии в этих элементах электроснабжения является одной из приоритетных задач энергосбережения, которая позволяет получить ощутимый энергетический и экономический эффект.

Постановка задачи

В связи с необходимостью замены значительного количества цеховых трансформаторов из-за их износа, а также в связи с недогрузками, представляется целесообразным рассмотреть возможные варианты такой замены. Поэтому возникает задача технико-экономического обоснования эффективности энергосберегающего мероприятия с учетом рыночных условий функционирования. Поскольку замена распределительных трансформаторов является долгосрочным энергосберегающим мероприятием, которое имеет длительный срок окупаемости, то при оценке эффективности таких мероприятий необходимо дополнительно учитывать динамику роста цен на электроэнергию [1], которая к концу жизни проекта может в несколько раз превышать первоначальную.

Способ решения

Таким образом, уточнение оценки эффективности распределительных трансформаторов возможно за счет учета технических, экономических факторов и показателей графиков электрической нагрузки в совокупности. Поэтому в работе определяются экономические показатели для выбора трансформаторов цеховых подстанций предприятий и рассматриваются распределительные трансформаторы с различными уровнями потерь мощности короткого замыкания и холостого хода, учитываются их стоимостные показатели, характерные режимы электрической нагрузки различных потребителей, тарифы на электрическую энергию, а также макроэкономические параметры региона. При этом решены следующие задачи:

- выполнена сравнительная оценка технико-экономических характеристик распределительных трансформаторов;
- разработана технико-экономическая модель эффективности распределительных трансформаторов;
- разработана компьютерная программа для решения задач оценки эффективности распределительных трансформаторов;

– выполнена оценка энергетического и экономического эффекта замены распределительных трансформаторов на ряде предприятий при различных видах тарифов и с учетом роста цены на электроэнергию.

Предлагаемая для решения задачи технико-экономическая модель основывается на концепции дисконтирования потоков реальных денег с использованием таких показателей, как [2], [3]:

– чистый дисконтированный доход (NPV) – прибыль, полученная за весь срок реализации энергосберегающего проекта, дисконтированная к году вложения инвестиций;

– динамический срок окупаемости (DPP) – часть инвестиционного периода, в течение которого вложенный капитал окупается и вместе с тем инвестор получает доход в размере процентной ставки;

– сравнительная цена (M) – сумма всех капитальных вложений и эксплуатационных затрат в энергосберегающее мероприятие, дисконтированных к начальному моменту времени. Сравнительная цена здесь учитывает не только продажную стоимость рассматриваемых трансформаторов, но и степень их эксплуатационной выгоды – срок службы и расход электроэнергии.

Алгоритм технико-экономического моделирования представлен на рис. 1.

Следует обратить внимание, что для одноставочного и двухставочного тарифов потери электроэнергии в трансформаторах целесообразно рассчитывать по следующей формуле:

$$W = n \cdot \Delta P_{cm} \cdot T + \frac{1}{n} \Delta P_{sc} \left(\frac{S_{\max}}{S} \right)^2 \tau, \text{ [кВт} \cdot \text{ч]}, \quad (1)$$

где n – количество трансформаторов, шт.; ΔP_{cm} , ΔP_{sc} – соответственно потери мощности холостого хода и короткого замыкания трансформатора, кВт; S , S_{\max} – соответственно номинальная мощность трансформатора и максимальная нагрузка потребителя электроэнергии, кВт · А; T , τ – соответственно продолжительность включенного состояния в году и время наибольших потерь, ч.

Для двухставочно-дифференцированного тарифа расчеты по формуле (1) затруднительны в связи с необходимостью определения времени наибольших потерь для каждой временной зоны суток. Поэтому для данного тарифа потери электроэнергии в трансформаторах для каждой временной зоны рекомендуется определять по средней нагрузке и коэффициенту формы графика нагрузки:

$$W = n \cdot \Delta P_{cm} \cdot T + \frac{1}{n} \Delta P_{sc} \left(\frac{S_{md} \cdot k_f}{S} \right)^2 T, \text{ [кВт} \cdot \text{ч]}, \quad (2)$$

где S_{md} – средняя нагрузка потребителя электроэнергии, кВт · А; k_f – коэффициент формы графика нагрузки потребителя электроэнергии, о. е.

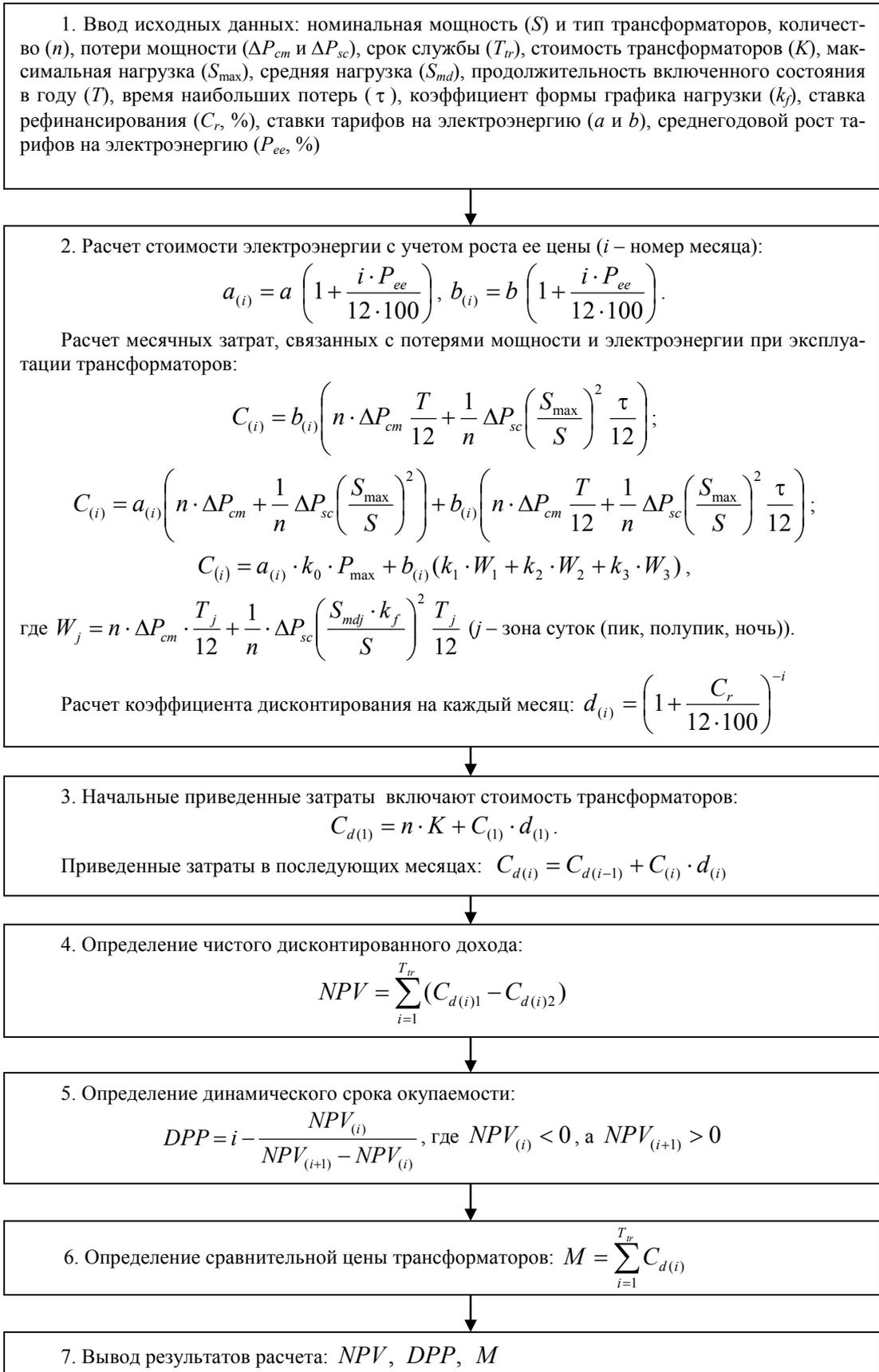


Рис. 1. Алгоритм технико-экономической оценки эффективности распределительных трансформаторов

Поскольку расчеты по вышеописанной методике представляют трудоемкий процесс, то для повышения точности технико-экономических расчетов при учете ряда факторов было разработано программное обеспечение. Фрагменты программы представлены на рис. 2 и 3.

Оптимальный выбор трансформатора

Характеристики распределительных трансформаторов

Тип трансформатора	ТМЗ	ТМГ12
Номинальная мощность, кВА	1000	630
Количество	1	1
Потери холостого хода, кВт	2,45	0,8
Потери короткого замыкания, кВт	12,2	6,75
Срок службы, лет	10	25
Стоимость, USD	0	9330

Продолжительность включенного состояния в году, ч: 8760

Ставка рефинансирования, %: 12

Первая ставка тарифа, USD/кВт: 13,26

Вторая ставка тарифа, USD/кВт*ч: 0,123

Понижающий коэф-т к основной ставке тарифа: 0,5

	Пик	Полупик	Ночь
Продолжительность зоны, ч/сут	3	14	7
Коэф-т к дополнительной ставке тарифа	2,1	1	0,8
Средняя мощность нагрузки, кВА	170	190	128
Коэф-т формы графика нагрузки	1,05		

Среднегодовой рост тарифов на электроэнергию, %: 20

Ввод

Рис. 2. Окно ввода исходных данных

Оптимальный выбор трансформатора

Динамический срок окупаемости, мес: 56 (4,7 лет)

Чистый дисконтированный доход, USD: 26095,85

Тип трансформатора	ТМЗ-1000	ТМГ12-630
Годовые издержки, USD	3545,2	2882,5
Сравнительная цена, USD	383106,3	263274,3
Экономия электроэнергии в год, кВт*ч	13086,8	

Назад Начало

Рис. 3. Окно вывода результатов расчета

Результаты исследований и их обсуждение

В работе рассматривались трансформаторы следующих типов: ТМ, ТМГ, ТМГМШ, ТМГ11, ТМГ12 и ТСЗГЛ. В табл. 1 представлены технико-экономические характеристики трансформаторов мощностью 630 и 1000 кВ · А. При этом транс-

форматоры типа ТМ рассматривались как установленные и нуждающиеся в замене, их остаточная стоимость во внимание не принималась.

Таблица 1

Сравнительная оценка технико-экономических характеристик распределительных трансформаторов мощностью 630 и 1000 кВ · А

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ · А	Потери холостого хода ΔP_{cm} , кВт	Потери короткого замыкания ΔP_{sc} , кВт	Цена, USD
ТМ	630	1,68	8,5	–
	1000	2,45	12,2	
ТМГ	630	1,24	7,6	8145
	1000	1,6	10,8	10254
ТМГ11	630	1,06	7,45	8442
	1000	1,4	10,8	10679
ТМГ12	630	0,8	6,75	9330
	1000	1,1	10,2	12015
ТМГМШ	630	0,94	7,6	8961
	1000	1,25	10,8	11465
ТСЗГЛ	630	1,65	5,73	21376
	1000	2,15	8,4	28929

Следует обратить внимание на трансформаторы серий ТМГМШ и ТМГ12, характеризующиеся пониженными уровнями потерь мощности. Поскольку такие трансформаторы несколько дороже остальных, целесообразно определить условия, которые обеспечат минимальные затраты на покупку и эксплуатацию трансформаторов.

С помощью разработанной программы была произведена оценка эффективности замены устаревших и малонагруженных трансформаторов ряда предприятий. Также определены показатели экономической эффективности работы трансформаторов и показатели сравнительной оценки эффективности применения различных трансформаторов для отраслей промышленности (табл. 2, 3).

Таблица 2

Сравнительная оценка динамических сроков окупаемости трансформаторов для отраслей промышленности

Наименование отрасли	DPP при среднегодовом росте тарифов на электроэнергию 20 %, лет		
	ТМГ	ТМГМШ	ТМГ12
Деревообрабатывающая промышленность	8,0	6,6	5,9
Легкая промышленность	7,8	6,4	5,8
Металлургия	7,5	6,3	5,6
Машиностроение	8,4	6,8	6,2

Из табл. 2 видно, что наихудшие показатели окупаемости трансформаторов характерны для машиностроения, где наибольшее время потерь $\tau = 2000$ ч, а наилучшие показатели – в металлургии ($\tau = 6500$ ч).

Если сравнивать окупаемость дополнительных капиталовложений в более энергоэффективный трансформатор (табл. 3), то этот показатель практически одинаков для различных отраслей промышленности.

Таблица 3

Сравнительная оценка динамических сроков окупаемости мероприятия по выбору энергосберегающего трансформатора для отраслей промышленности

Наименование отрасли	DPP дополнительных капиталовложений в трансформатор при среднегодовом росте тарифов на электроэнергию 20 %, лет		
	ТМГ→ТМГМШ	ТМГМШ→ТМГ12	ТМГ→ТМГ12
Деревообрабатывающая промышленность	2,1	0,9	1,5
Легкая промышленность	2,1	0,8	1,4
Металлургия	2,1	0,8	1,3
Машиностроение	2,1	1,2	1,7

Расчеты показали, что энергосберегающие трансформаторы ТМГ12 имеют наименьшую сравнительную цену среди распределительных трансформаторов мощностью 630 и 1000 кВ · А и окупаются быстрее. При этом режим работы потребителя (степень неравномерности графика нагрузки) существенно влияет на выбор трансформатора, даже при его одинаковой номинальной мощности. И, несмотря на более высокую продажную цену, часто предпочтение следует отдавать более дорогим трансформаторам со сниженными потерями мощности.

Также было исследовано влияние вида тарифа, по которому предприятие рассчитывается за электроэнергию, на экономические показатели мероприятия по замене трансформаторов.

В качестве примера рассмотрим результаты анализа эффективности замены трансформатора типа ТМЗ-1000 на ТМГ12-630 (табл. 4).

Таблица 4

Влияние вида тарифа на экономические показатели эффективности замены трансформатора

Форма тарифа	Ставка тарифа		NPV, USD		DPP, лет	
			при среднегодовом росте тарифов на электроэнергию, %			
	USD/кВт	USD/кВт · ч	0	20	0	20
Одноставочный	–	0,15	6254,1	28340,13	7,1	4,4
Двухставочный	13,26	0,123	4530,3	24173,2	8,6	4,9
Двухставочно-дифференцированный	13,26	0,123	13086,8	26095,9	7,8	4,7

Из табл. 4 следует, что наилучшие показатели эффективности внедрения энергосберегающего трансформатора в рассматриваемых условиях имеют место при одноставочном тарифе, поскольку при данном тарифе платежи за потребленную электроэнергию наибольшие. Учет роста цен на электроэнергию увеличивает расходы на ее

оплату, при этом экономические показатели эффективности мероприятия улучшаются (рис. 4 и 5).

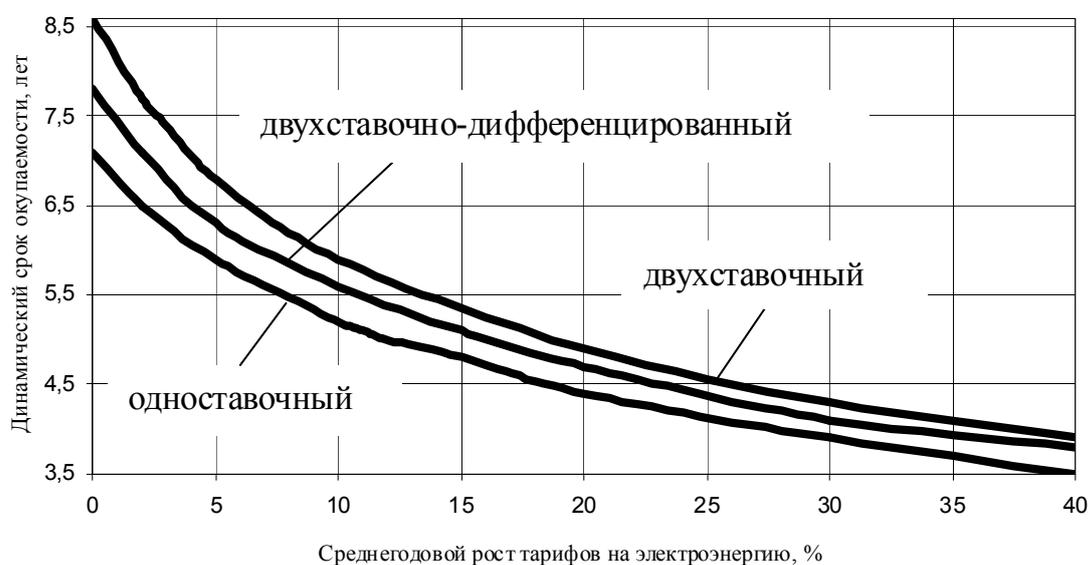


Рис. 4. Зависимость динамического срока окупаемости энергосберегающего трансформатора от роста цены на электроэнергию

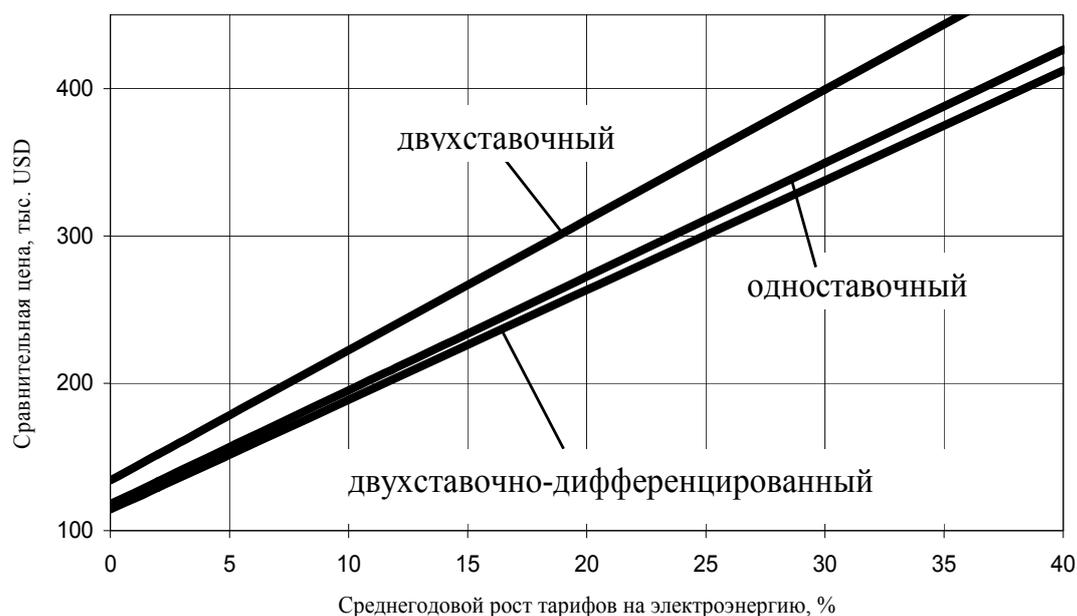


Рис. 5. Зависимость сравнительной цены энергосберегающего трансформатора от роста цены на электроэнергию

Как следует из рис. 5, наименьшие эксплуатационные расходы на трансформатор будут при двухставочно-дифференцированном тарифе.

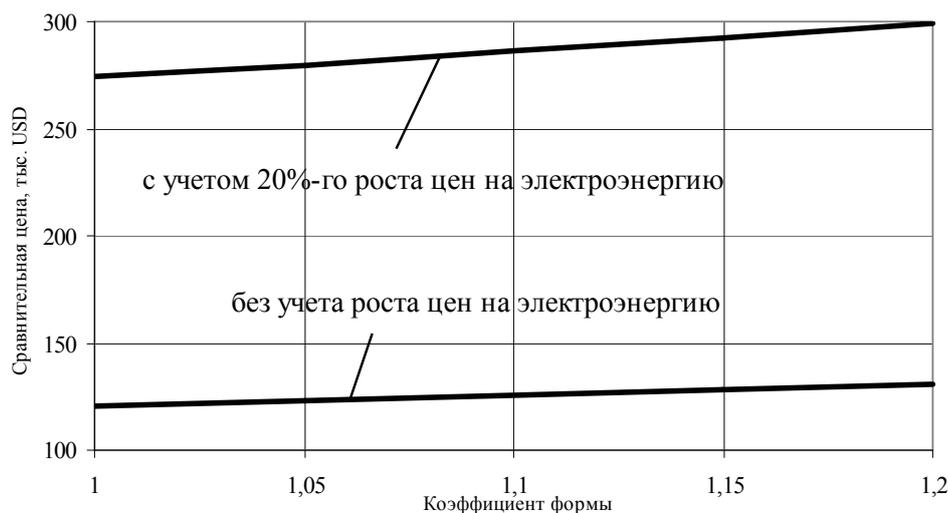


Рис. 6. Зависимость сравнительной цены энергосберегающего трансформатора от коэффициента формы графика нагрузки

При замене старого трансформатора типа ТМЗ-1000 на ТМГ12-1000 исследования показали (рис. 6), что с увеличением степени неравномерности графика нагрузки сравнительная цена энергосберегающего трансформатора резко увеличивается.

При учете роста цен на электроэнергию влияние степени неравномерности графика нагрузки на динамический срок окупаемости энергосберегающего трансформатора заметно уменьшается (рис. 7), что объясняется преобладающим влиянием удорожания электроэнергии на показатели экономической эффективности энергосберегающих мероприятий [1].

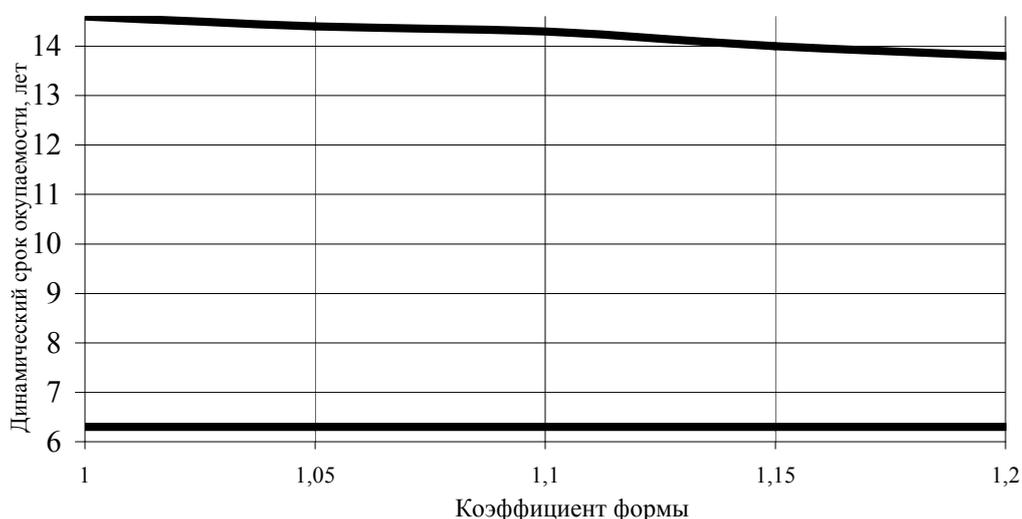


Рис. 7. Зависимость динамического срока окупаемости энергосберегающего трансформатора от коэффициента формы графика нагрузки

Заключение

1. Оценку эффективности распределительных трансформаторов целесообразно основывать не только на анализе технических параметров, но и экономических факторов и показателей графиков электрической нагрузки, что в совокупности позволяет учитывать режим электропотребления (степень неравномерности графика

нагрузки), виды и изменение тарифов на электроэнергию, эксплуатационные издержки трансформаторов и процентные ставки банка.

2. В условиях удорожания электроэнергии существенно изменяются экономические показатели эффективности работы распределительных трансформаторов: рост тарифов на электроэнергию на 1 % приводит к снижению динамического срока окупаемости на 1,0–2,7 % для одноставочного тарифа, для двухставочного – на 0,9–3,3 %, для двухставочно-дифференцированного тарифа динамический срок окупаемости снижается на 0,6–2,8 %.

Литература

1. Колесник, Ю. Н. Оценка эффективности долгосрочных энергосберегающих мероприятий с учетом роста цен на электроэнергию / Ю. Н. Колесник, А. В. Иванейчик, М. Н. Кузнецов // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 11. – С. 40–42.
2. Колесник, Ю. Н. Оценка эффективности энергосбережения за счет внедрения энергосберегающих источников света в рыночных условиях функционирования / Ю. Н. Колесник, А. В. Иванейчик // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2007. – № 2. – С. 101–106.
3. Стабровский, Л. Н. О комплексной финансовой оценке технических характеристик распределительных трансформаторов с точки зрения конечного потребителя / Л. Н. Стабровский // Энергия и Менеджмент. – 2005. – № 3. – С. 31–35.
4. Савочкина, В. В. Анализ характеристик и выбор распределительных трансформаторов при различных режимах работы потребителей / В. В. Савочкина, Ю. Н. Колесник // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : сб. материалов VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и магистрантов / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2008. – С. 147–149.

Получено 20.04.2010 г.